



UNIVERSIDAD
de SEVILLA

Acto Solemne
de
Investidura como
Doctor Honoris Causa
del Profesor Dr. D.
Enrique Alarcón Álvarez

Universidad de Sevilla

Sevilla 1999



LAUDATIO
a Enrique Alarcón Álvarez

Javier Aracil Santonja

*Su Alteza Real la Infanta Doña Cristina,
Excmo. y Mqfco. Sr. Rector,
Excmas. e Ilmas Autoridades,
Claustales,
Señoras y Señores:*

Es para mí una gran satisfacción haber sido honrado con la distinción de apadrinar al nuevo Doctor Honoris Causa por esta Universidad, el profesor Enrique Alarcón Álvarez. El halago es aún mayor si se considera que se trata del primer acto de investidura de Doctores Honoris Causa por la Escuela Superior de Ingenieros, centro que a pesar de contar ya con más de 30 años de existencia aún no había propuesto a la Universidad ningún Doctor Honorario. Por lo que tiene de iniciación en un grado que representa el más alto nivel honorífico de sanción académica, la Escuela ha sido especialmente cuidadosa antes de dar este paso. Y hoy estamos aquí reunidos para ratificar públicamente la designación de dos ilustres ingenieros para tan alto grado.

La elección del profesor Enrique Alarcón es particularmente apropiada. Un Doctorado Honoris Causa cubre al menos un doble designio. Por una parte, premiar una ejecutoria considerada ejemplar por la comunidad académica que lo concede; elevar a la categoría de modelo para esa comunidad al destinatario de la distinción; decir públicamente que ese es un ideal a seguir. Pero, al mismo tiempo, hay un segundo aspecto, no menos importante. Se trata de un acto público de reconocimiento de una aportación de naturaleza muy especial al centro que hace la propuesta. Es un acto de agradecimiento por un servicio excepcional prestado por el doctorado a la institución que se lo otorga. No siempre están presentes estos dos aspectos en igual medida, o al menos comparable, en un investido. Vamos a ver que en el caso del profesor Enrique Alarcón ambos aparecen en grado sumo.

Voy a ocuparme en primer lugar del segundo de los aspectos, que nos llevará a poner de manifiesto la deuda de gratitud que nuestra Escuela tiene con el doctorando. Para ello tenemos que hacer un poco de historia y remontarnos a los años 70. Hoy

en día la Escuela Superior de Ingenieros, descendiente informal de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales, es un centro que ha alcanzado un considerable grado de consolidación y de prestigio, en el que trabaja una comunidad académica que ejerce su actividad en unas instalaciones razonablemente bien dotadas de medios y con una importante labor de investigación básica y aplicada, de considerable incidencia en el desarrollo de nuestra región. Pero no siempre fue así. Si nos remontamos a los años 60, años en los que se creó esta Escuela, lo que se entendía por una Escuela de Ingenieros en nuestro país era algo muy diferente. A los jóvenes les resultará difícil imaginar cómo era la Escuela en aquellos años. Cuando uno se encuentra con unas instalaciones envidiables, y lo que es más importante, con unos equipos humanos que realizan una labor de investigación y de relación con la industria, que publican en prestigiosas revistas y participan con regularidad en Congresos internacionales o en proyectos europeos, donde son acogidos con normalidad, y donde ellos se sienten cómodos e iguales a los demás, puede que les resulte un ejercicio excesivo de imaginación, rondando lo inverosímil, el tratar de situarse en esta Escuela digamos allá en 1970.

Precisamente en esa época se producen unos cambios que no creo exagerado tildar de trascendentales en las Escuelas de Ingenieros de nuestro país. Todas esas transformaciones iban a confluír en la revolución silenciosa que se produjo en esos años en esas Escuelas, y a la que no permaneció ajena la nuestra. Es esta una pequeña revolución que no se si ha sido suficientemente estudiada, pero en ella se origina una renovación sustancial, en consonancia con las necesidades de un país que aspiraba a la modernización. La alteración más llamativa quizás sea la que se produce en el modo de concebir su actividad por parte de los profesores. Hasta entonces habían sido notables profesionales que dedicaban generosamente una parte de su tiempo a la formación de los que serían sus futuros compañeros. El modelo, sin embargo, parecía agotarse y requerir su sustitución por otro de una dedicación más intensiva del profesorado al quehacer universitario. Además, al modelo declinante subyacía una concepción de la ingeniería que tendía a limitarla a la formación prioritaria, y casi exclusiva, de altos cuadros ejecutivos con un cierto distanciamiento de los aspectos más creativos en lo propiamente tecnológico. Se produce entonces en la gran mayoría de las Escuelas tradicionales españolas una profunda transformación que determinaría que, en un período de aproximadamente unos diez años, el régimen de dedicación completa del profesorado pasase de ser algo esporádico a ser la norma general. Con ello, por otra parte, se estaban anticipando a las necesidades, que empezaban a manifestarse, de una capacidad de innovación tecnológica (y este es un capítulo aún abierto), a las que los titulados de las Escuelas tendrían que dar satisfacción, pero para lo que no estaba claro que las Escuelas de entonces estuviesen preparadas ni aún motivadas.

Sin embargo, ese proceso resultaba particularmente delicado en centros de reciente creación (de recreación en rigor histórico en el caso de Sevilla) como era nuestra

Escuela, que tuvo que vivir al mismo tiempo tres procesos de especial complejidad: la plena integración en la Universidad de Sevilla, el cambio de modelo histórico de dedicación del profesorado y de su forma de acceso, y la homologación de su plan de estudios al del resto de las Escuelas. Todos estos problemas eran abrumadores. El primero, el de la integración en la Universidad era especialmente delicado, pues se carecía de experiencia en la integración de Escuelas de Ingenieros en Universidades clásicas. Se temía que estas Escuelas tuviesen un rango inferior al de las integradas en las Universidades Politécnicas. Por ello se vivía como un agravio comparativo el que a una ciudad semejante, como Valencia, se le concediese una Universidad Politécnica (con su carácter determinante de instrumento de gestión de la política universitaria para la impulsión del desarrollo tecnológico en el ámbito regional) y a Sevilla se le negase, como aun es el caso, y cuando ya poseemos la experiencia del factor determinante que para ese desarrollo tecnológico, creador de riqueza y de actividad económica, puede ser una Universidad Politécnica (ahí estan los casos de Cataluña, y la ya mencionada Valencia). Todo ello en una Escuela sometida a considerables convulsiones y necesitada de referencias claras. Los que vivimos la Escuela de aquellos años sabemos hasta que punto era grave la enfermedad que padecía. En esas estábamos cuando la diosa fortuna quiso que Enrique Alarcón accediese por oposición en 1975 a la Cátedra de Elasticidad y Resistencia de Materiales de la Escuela. Su venida fué una bocanada de aire fresco.

Fueron aquellos unos años difíciles y hermosos. El propio país estaba embarcado en una transición hacia la normalidad europea en la que hoy nos sentimos tan comodamente instalados y, porqué no decirlo, orgullosos. Se produjo en esos años una venturosa conjunción de inteligencia y abnegación que iba a producir una renovación radical. A nuestra generación le correspondió su cuota en esa transformación. Éramos tan jóvenes y teníamos tantas ilusiones. Admira el recordar el desbordamiento de generosidad que hizo posible esa profunda reforma (generosidad que parece que se descontó en exceso, y de la que hoy detectamos alguna carencia). Desde nuestra Escuela se puso su granito en la empresa, y hoy nuestra Universidad le reconoce públicamente a Enrique Alarcón Álvarez su contribución a todo ello. Estuvo aquí unos años decisivos, y cuando se fue de Sevilla a la Universidad Politécnica de Madrid lo hizo dejando un rastro profundo. Quedó un sello y un estilo que hoy reconocemos y agradecemos públicamente. Esta Escuela es hoy más moderna, respetada e incluso admirada gracias al desinteresado e ilusionado esfuerzo que, en consonancia con la mezcla de euforia y liberalidad con que se vivieron aquellos años, personas como Enrique Alarcón dedicaron sus mejores esfuerzos a lograrlo.

Su contribución a la transformación de la Escuela en el Centro que hoy tenemos fue inestimable. Su participación en la Dirección de la Escuela, como Subdirector de Investigación (algo que entonces empezaba a dar los primeros pasos vacilantes en

ella), contribuyó decisivamente a su encauzamiento por las sendas que demandaban los tiempos y que conducen a la Escuela actual. También se ocupó de las Actividades Culturales. El haber contribuido decisivamente a que Sevilla disponga de un centro como nuestra Escuela es algo difícil de sobrestimar. La gran deficiencia de las zonas menos avanzadas es la carencia de capital humano. Y me parece que está fuera de toda duda que un centro universitario como esta Escuela Superior de Ingenieros de Sevilla es un espléndido manantial de ese activo imprescindible en una sociedad que aspira a la modernidad.

Pero su contribución más personal e inestimable es el impulso que de él tuvo la especialidad mecánica de la Escuela, hasta el extremo que no creo exagerado el decir que pueda considerarse como creación suya. Hoy esa especialidad está entre las que más prestigio gozan entre los alumnos de la Escuela por su calidad y excelencia. Pero ello no era así a mediados de los setenta. Los que recuerdan la Escuela de la época saben hasta que punto se puede decir que entonces sucedía justamente lo contrario. Y ese cambio transcendental en la marcha de la Escuela es algo que Enrique Alarcón tiene que apuntarse en su activo. No se trata sólo de decir que prácticamente todos los catedráticos de la especialidad en la actualidad son discípulos suyos sino, y sobretodo, que el espíritu de trabajo y de rigor que supo imprimir son los dominantes. Ese es su legado más personal.

Antes de terminar con esta parte de mi intervención, tengo que aludir a la importante contribución de Enrique Alarcón a otro de los grandes activos de nuestra Escuela: lo que podríamos llamar el mestizaje académico. Nuestra Escuela era originariamente una Escuela de Ingenieros Industriales, y eso era precisamente cuando el profesor Enrique Alarcón accedió a la Cátedra. El profesor Enrique Alarcón es ingeniero de Caminos y con su incorporación al claustro de la Escuela se consolida un rasgo que iba a enriquecerla extraordinariamente. Hoy en nuestra Escuela imparten docencia, además de más de 150 ingenieros industriales, un número creciente de ingenieros de telecomunicación, ingenieros de otras especialidades, como de caminos, aeronauticos informáticos y de montes, una cifra considerable de matemáticos, físicos y químicos, así como titulados en arquitectura y bellas artes. Como se ve once titulaciones distintas de origen en su cuadro docente; y tres títulos de ciclo completo, y otros tantos de segundo ciclo en su oferta. Y lo que está por venir. Todo ello ha traído a la Escuela una variedad y un pluralismo que constituyen uno de sus principales activos, del que conozco pocos centros que puedan alardear y del que nos sentimos justamente satisfechos. La capacidad fecundadora de la diversidad no necesita ser resaltada en una tierra que se ha nutrido de ella a lo largo de la historia.

Pero su labor de maestro de ingeniería mecánica no se limita a nuestra Escuela de Sevilla. Su aportación a la renovación de la ingeniería mecánica en las Escuelas de Ingenieros Industriales de España tuvo aquí su semilla, pero los frutos también al-

canzaron al resto del país e incluso a Hispanoamérica. Y así sería larga la lista de discípulos (ha dirigido más de treinta tesis doctorales), y de discípulos de discípulos, que profesan en Escuelas a lo largo de la geografía española. Doce de ellos son catedráticos (11 en España y uno en Venezuela). Pero con ello tampoco se agota su labor por la gestión universitaria, pues lo mismo que ya hemos visto que fue en Sevilla, Subdirector de Investigación, también lo fue en Madrid, y además fue Subdirector General de Promoción de la Investigación en el Ministerio de Universidades e Investigación (1981).

El otro gran aspecto de la obra de Enrique Alarcón que tenemos hoy que resaltar aquí es su labor como ingeniero. La ingeniería es una extraña profesión. Los rasgos que la definen son tan antiguos como el propio hombre. La capacidad de representar el entorno, y remodelarlo para adaptarlo a nuestras necesidades, y hacernos más confortable la vida en él, está entre los aspectos que se apuntan como distintivos de la transición de los homínidos al hombre. Sin embargo, mientras otras profesiones, como el Derecho o la Medicina, ya aparecen como tales en el mundo antiguo, la Ingeniería como profesión (aunque no como actividad) no se organiza hasta tiempos mucho más recientes (un par de siglos a lo sumo). La ingeniería posee sus propios matices. Es concepción de un mundo artificial, en donde las necesidades y aspiraciones del hombre encuentran una mejor satisfacción. Pero esa concepción, que es una forma de creación, debe estar subordinada a las exigencias de rigor y precisión a las que nos ha acostumbrado el método desarrollado por los científicos. De ahí que ciencia e ingeniería aparezcan tan íntimamente relacionadas, siendo como son cosas tan diferentes en sus fines. El ingeniero tiene que aunar la capacidad imaginativa de un creador, con el sometimiento al rigor que le impone un profundo conocimiento de las ciencias naturales.

Por eso no es fácil encontrar prototipos de ingeniero. Quizás por ello nuestra Escuela haya tardado tanto en investir a sus primeros Doctores Honorarios. Pero si alguien se acerca a la figura del ingeniero ideal ese es Enrique Alarcón. En su obra aparecen tanto realizaciones prácticas concretas como aportaciones metodológicas que constituyen muestras ejemplares del quehacer del ingeniero. La aplicación de lo más exigente y riguroso del método científico a problemas prácticos y concretos, junto con la originalidad y creatividad en las concepciones, constituye el núcleo de las formas más excelsas de la ingeniería. Y ambas facetas están en la obra de Enrique Alarcón.

Como ingeniero, en el sentido más habitual del término, cabe destacar su labor como proyectista en la Subdirección de Obras Nuevas de Renfe, y en la Sociedad de Estudios y Experimentación (STNEX, S.A.) de la que actualmente es presidente. Ha elaborado unos 60 proyectos de construcción y ha dirigido varios de ellos. Esa labor incluye el proyecto de numerosas instalaciones industriales (en su época de Renfe, múltiples Estaciones y talleres anexos), obras de infraestructura del transporte y de-

portivas (Estadio de Vallecas, Palacios de Deportes de Valencia, Málaga y Tenerife). Así mismo, ha realizado el análisis sísmico de presas (Nueva de Tous y de Guara), puentes (Internacional sobre el Miño y en la autovía Granada-Baza), gasoductos (Enagas) y túneles (el de «El Padrún» y el de Somport). Ha realizado numerosas contribuciones en el proyecto y cálculo dinámico de estructuras aeroespaciales (satélites, vehículo Ariane). Su labor es muy vasta y resulta imposible resumirla aquí, sin cansarles innecesariamente. Actúa como experto en representación española en numerosos comités de normativa de ingeniería de la Unión Europea. Se puede destacar su contribución a la reciente norma sísmica europea. También podemos recordar que es miembro de múltiples sociedades profesionales, entre las que cabe destacar su condición de Académico de la de Ingeniería de España.

Y todo ello desarrollando en paralelo una labor de investigación con la que ha contribuido con métodos originales para la resolución de problemas de ingeniería, con numerosas y relevantes aportaciones en las áreas de ingeniería sísmica, dinámica de estructuras, métodos numéricos, y al comportamiento estructural de puentes y de túneles. Más de doscientas cincuenta publicaciones entre revistas internacionales, nacionales, congresos y aportaciones a libros avalan esa obra. En ellas destaca especialmente su papel internacional en la gestación y desarrollo del método de los elementos de contorno, y, por supuesto, su introducción en España¹. Pero no voy a recurrir a medidas cuantitativas de esta clase de labor (estoy pensando en los abusivamente usados índices de impacto, denominación que parece más propia de un concurso de tiro que de una medida de excelencia académica). Alguna utilidad si tienen, especialmente a la hora de facilitar decisiones engorrosas. En el correspondiente expediente encontrará el que quiera consultarlo el peso de todo ello. Pero de lo que estamos hablando aquí es de algo que veo difícil reducir a medidas. Los números están bien, pero no lo son todo. Ni siquiera lo más importante. No es a esa clase de criterios a los que quiero apelar para sustentar mi petición.

Es a la gratitud y a la admiración a lo que quiero invocar para con toda la solemnidad que requiere este acto pronunciar la petición ritual: *Peto Gradum Doctoris Excellentissimo Domino Enrique Alarcón Álvarez.*

¹ E. Alarcón, C. Brebbia, J. Domínguez, «The Boundary Element Method in Elasticity», International Journal of Mechanical Sciences, Marzo 1978; E. Alarcón, F. París, A. Martín, «Boundary Elements in Potential and Elasticity Theory», Computers & Structures, 10, 351-362; E. Alarcón, A. Reverter, «P-Adaptative Boundary Elements», International Journal of Numerical Methods in Engineering, 23, 801-829, 1986.

LECCIÓN MAGISTRAL

de Enrique Alarcón Álvarez

Quiero empezar agradeciendo al Claustro de la Universidad de Sevilla y al de la Escuela Superior de Ingenieros el honor que me otorga al entregarme el grado de Doctor. Soy consciente de que el reconocimiento es debido exclusivamente a la generosidad de estas instituciones que siempre me han distinguido con su consideración. Este acto despierta además, mi añoranza por el tiempo en que tuve el privilegio de ser profesor en la Escuela Superior de Ingenieros (fundada el mismo año en que yo me graduaba) y disfrutar de la hospitalidad y espíritu de progreso de esta maravillosa ciudad.

Desembarqué en el aeropuerto de Sevilla el 4 de Julio de 1975. La calurosa recepción ambiental fue una premonición de la que me dispensó el entonces director de la Escuela, profesor Javier Aracil. Él me abrió de par en par las puertas de la Institución, incluido el despacho de Subdirector (cosa que tardé en perdonarle) y resolvió mis dudas de profesor novato poniendo bajo mi custodia a dos estudiantes excepcionales: José Domínguez y Antonio Martín. La responsabilidad de no defraudar las expectativas y el desafío que suponía trabajar con dos inteligencias en plena ebullición reforzó la ilusión con que llegué a esta Universidad y mi propio aprendizaje como investigador. El profesor Javier Aracil supo captar los deseos de superación del grupo que él había contribuido a crear, vio claramente lo conveniente que era para la Escuela preparar futuros profesores y me facilitó la resolución de todas las necesidades de bibliografía, instalaciones y material (incluido el venerable IBM 1130) que permitieron arrancar el trabajo de investigación. Sin la visión del profesor Aracil la Escuela de Ingenieros sería hoy distinta pero también lo habría sido mi propia trayectoria, que por tanto, está en deuda con él.

Bajo el brazo traía yo una Beca March para estudiar la «Interacción Sísmica terreno-estructura en obras subterráneas», ello nos obligó a trabajar en una línea de investigación que continuaba mis estudios previos y nos proyectó hacia universidades extranjeras donde descubrimos un mundo fascinante en que coexistían métodos numéricos, cálculo dinámico, leyes de comportamiento no lineal, matemática abstracta y aplicaciones industriales y militares.

Al grupo inicial se sumaron enseguida alumnos de primera categoría, con lo que en dos años nos pusimos en condiciones de realizar contribuciones originales en foros de prestigio. Así, como diría Cajal, luchando con los fuertes adquirimos fortaleza

y mientras los jóvenes investigadores alcanzaban las más altas cotas académicas yo obtuve la solución a mis primeras preguntas tras obtener la Cátedra: cómo investigar, cómo crear un grupo investigador, qué es un profesor universitario, cómo cooperar con la industria en temas punteros, etc.

A todos ellos, los catedráticos José Domínguez, Antonio Martín, Jaime Domínguez, Federico París, Rafael Picón, Manuel Doblaré y Francisco García Benítez que se formaron en aquellos dos años mágicos, cuando el mundo era joven, quiero públicamente agradecer lo que me enseñaron y transmitirles mi reconocimiento por haberme ofrecido sin tasa su amistad y su tiempo, así como por haberme ayudado con su entusiasmo a renovar el mío y a sentirme hombre útil en el sentido de la máxima orsiana.

Dije dos años, pues un día del verano del 77 recibí un par de llamadas de teléfono casi simultáneas; en una de ellas el director de la Escuela de Madrid me proponía una incorporación inmediata a la Cátedra de Estructuras y en la otra el profesor Francisco González a la sazón Rector de Sevilla, me ofrecía el puesto de Vicerrector de Investigación en el equipo que estaba formando. La elección fue difícilísima y finalmente motivada por el conocido aforismo que asegura que uno nace en el pueblo de su madre y muere en el de su mujer.

En Madrid fue dónde explotó toda la furiosa investigación llevada a cabo en la Universidad de Sevilla y es a su Escuela Superior de Ingenieros a la que debo toda mi trayectoria posterior. Este nuevo honor que me ofrece no hace pues más que incrementar mi deuda de gratitud a la que sólo puedo corresponder ofreciendo públicamente mi disponibilidad a colaborar con ella en lo que se considere pueda ser útil.

Dicho esto quisiera proceder a comentar algunos puntos sobre el tema de Ingeniería Sísmica que, de una forma u otra, me ha venido acompañando toda mi vida y que tiene el atractivo de ser uno de los problemas más difíciles con los que se encuentra la construcción.

La ingeniería sísmica como tal es un concepto relativamente reciente, ya que la Asociación mundial fue creada en San Francisco en 1956 conmemorando los 50 años de famoso terremoto, con objeto de aunar los esfuerzos que se estaban desarrollando en todos los países y que condujeron finalmente al desarrollo tremendo experimentado por esta rama de la ingeniería en los últimos años. Se trata de una especialidad en que cualquier avance del conocimiento se puede trasponer a otros campos de la construcción y por ello la rentabilidad de las inversiones está garantizada.

El tema de esta charla ha sido escogido por tres razones: en primer lugar por la enorme importancia que tiene para Andalucía cuyo territorio ha sido testigo de terre-

mentos locales fortísimos como el de Carmona de 1504 o el de Arenas del Rey cuyo 114 aniversario se cumplió el pasado 25 de Diciembre; en segundo lugar como recordatorio de la campaña de las Naciones Unidas que declararon los 90 como década Internacional para la reducción de las catástrofes naturales. Finalmente se trata de un pequeño homenaje al tema que, como dije antes, sirvió de estímulo y acicate al bisonño grupo investigador que se formó en la Escuela Superior de Ingenieros en 1975.

La construcción sismorresistente como problema ingenieril

El enfoque científico de los problemas constructivos surge con el famoso «Diálogo y demostración matemática» de Galileo sobre «las dos nuevas ciencias» publicado en Leiden en 1638 donde el sabio toscano se planteaba problemas típicos de la Resistencia de Materiales (que era una de las dos nuevas ciencias que anunciaba el título). Con este progenitor no es de extrañar que el método ingenieril siga un proceso semejante al de la ciencia positiva: tras una primera etapa de observación de la naturaleza o de las construcciones existentes se detectan fenómenos curiosos que se intentan reproducir en modelos físicos o matemáticos. El estudio de la respuesta de estos modelos a las acciones generadas por el medio ambiente permite una comprensión de su funcionamiento y la construcción de un artefacto (sea una máquina, una edificación o un detalle constructivo) que cumpla los requisitos que se desean. Este prototipo es sometido a las acciones reales y de su observación, repitiendo el proceso, se adquieren enseñanzas que permiten mejorar la solución. En el mundo de la producción industrializada la etapa siguiente es la producción en serie y en la construcción el establecimiento de un «estado del arte» que se recoge en Códigos o Normas de buena práctica que se van actualizando de acuerdo con los nuevos conocimientos adquiridos o con las exigencias sociales.

Este es el camino seguido por la Ingeniería Sísmica desde sus primeros balbuceos hasta la situación actual donde la densidad de publicaciones en todos los aspectos anteriores es tal que se corre el peligro de estar ahogado de información pero ayuno de conocimiento.

Además de las fascinantes investigaciones llevadas a cabo por los especialistas en Geofísica, existen temas igualmente atractivos en que trabajan actualmente los ingenieros: el modelado de la acción sísmica, complicadas leyes de comportamiento de los materiales ante cargas dinámicas, y potentes métodos de cálculo; pero también han surgido nuevos conceptos de proyecto y de ensayo así como una fuerte tendencia a la cooperación internacional y a la movilidad del personal investigador ya que se considera imposible la resolución de problemas de esta magnitud si no se aportan los esfuerzos a escala planetaria.

A continuación se incluyen algunos comentarios sobre cada uno de estos puntos.

La observación reflexiva y cuantificable

Los terremotos producen una impresión tan fuerte que no es extraño que desde tiempos históricos se hayan buscado explicaciones sobre su origen algunas más o menos pintorescas. Como muestra, voy a citar el caso de los kukis de Assam (India) donde en 1897 se produjo un terremoto que costó 1.500 vidas. Ellos achacan los movimientos telúricos a la pereza de un dios que habita en el interior de la tierra y que, a pesar de haber sido encargado de la vigilancia de los humanos, sufre una irresistible tendencia al sueño de modo que cuando despierta agita la superficie para comprobar que nada ha sucedido. No es de extrañar que cuando se produce un sismo los kukis corran en todas direcciones y aseguren a grandes voces «¡vivos, vivos, estamos vivos!».

En España una de las obras en las que con aspecto científico se exponían teorías míticas se debe a Isidoro Ortiz Gallardo, sobrino del famoso pícaro y primer Catedrático de matemáticas en Salamanca, Torres Villarroel. Tras suceder a su tío en la Cátedra, Ortiz compuso un opúsculo escrito al calor de la impresión provocada por el terremoto de Lisboa de 1755 en la que recogía las teorías de Arquímedes sobre vientos y explosiones internas para justificar los sismos, titulado «Lecciones entretenidas y curiosas physico-astroológico-meteteorológicas sobre la generación, causas y señales de los terremotos». Este mismo terremoto es recordado en Sevilla en el monumento frente a la Inmaculada de la plaza del Triunfo.

Realmente no se han conseguido las explicaciones plausibles hasta que no se han medido fenómenos observables. En este sentido es paradigmática la teoría del rebote elástico propuesta por el ingeniero Reid tras el terremoto de San Francisco de 1906 al interpretar los cambios de distancias entre dos triangulaciones del territorio realizadas antes y después del sismo, que marcaban claramente un desplazamiento relativo de los labios de la falla de San Andrés. El mérito de Reid consiste en haber considerado la rotura de la falla como causa y no resultado del terremoto y haber imaginado un modelo que explicaba a grandes rasgos los fenómenos observados basándose en mediciones de campo.

Debe insistirse en que la bondad de la observación reflexiva se ve incrementada cuando es posible medir los detalles de interés para lo que es preciso inventar los instrumentos adecuados. Como ejemplo se puede citar el cambio radical en el conocimiento que se produjo cuando Milne desarrolló su sismógrafo y creó la primera red mundial de observación en 1899 repartiendo algunos aparatos a amigos con los que compartía las observaciones. El estudio sistemático de los detalles contenidos en registros sísmicos ha permitido nada menos que el conocimiento de la estructura interna de la tierra.

En el ámbito de la construcción se han producido fenómenos semejantes al estudiar la respuesta de estructuras que se habían dotado de instrumentos registradores. Uno de los temas sobre los que más se discutió en las décadas 70 y 80 fue la interacción dinámica entre el terreno y la estructura a la que tanto han contribuido en Sevilla los grupos de investigación de la Escuela Superior de Ingenieros. El fenómeno fue descubierto por investigadores japoneses dirigidos por Kuno que en 1969 construyeron modelos a escala reducida (7'5 m de altura y 3'5 m de diámetro) de edificios de contención de centrales nucleares dotados de acelerógrafos cuyos registros se estudiaban tras terremotos reales. La falta de concordancia entre las ideas preexistentes y los resultados observados condujo a una línea de investigación que todavía se está explorando.

El modelo

En el proceso de comprensión científica de los problemas juega un papel primordial el modelo. Este puede ser físico (una maqueta) o abstracto (matemático). Al primer caso corresponde el ejemplo precitado y va acompañado generalmente de instrumentos de medida para corroborar conclusiones cuantitativas. Por contra el modelo abstracto funciona apoyándose en los principios básicos de la mecánica racional y puede ser una fórmula sencilla o un programa de ordenador.

Los aparatos más espectaculares para la simulación sísmica de construcciones en modelo físico han sido desarrollados en los últimos 30 años. Las estructuras que deben ser estudiadas se colocan sobre plataformas que se agitan de acuerdo con algún terremoto conocido, registrándose los detalles de interés mediante instrumentación colocada sobre el modelo.

Uno de los problemas de este tipo de simuladores radica en la limitación del tamaño de las construcciones que pueden ser ensayadas aunque se han llegado a construir plataformas muy espectaculares. Para soslayar las dificultades y poder estudiar la respuesta de estructuras a escala real se recurre al método llamado del muro de reacción donde la experiencia se realiza mezclando la simulación física con la numérica, de tal modo que con ésta se tratan los términos de inercia que pueden conocerse con gran exactitud, mientras que el comportamiento elastoplástico del material y su degradación se confía a la estructura real que es movida en régimen cuasi-estático por actuadores controlados desde el mismo ordenador que va resolviendo las ecuaciones del problema. La Unión Europea lleva años subvencionando los laboratorios dedicados a este tipo de modelos que se encuentran repartidos por casi todos los países.

El desarrollo explosivo de los modelos abstractos ha sido posible gracias a la confluencia entre los avances del ordenador y de métodos numéricos capaces de tratar eficazmente nuevos problemas físicos hasta el punto que cabe hablar de la favorable

influencia de la computadora como aparato de cálculo: liberados de las limitaciones en el tamaño de los problemas planteables (ya que el trabajo tedioso lo hace la máquina), se ha podido prestar atención a cuestiones distintas lo que ha permitido comprender la distribución de esfuerzos dinámicos en las construcciones y por tanto proponer alternativas para mejorar la solución.

Uno de los resultados más convincentes de la investigación llevada a cabo tras los años 50 es la simulación de la propia acción sísmica en la forma más adecuada al cálculo de las construcciones: es decir una serie temporal representativa de las aceleraciones del suelo. Ello se ha conseguido a partir de la idea de espectro de respuesta introducida por Benieff y Biot en los años 30-40 y llevada a cabo gracias a los registros obtenidos en la red de acelerógrafos desplegada en California.

La disponibilidad de un catálogo de registros históricos junto con la posibilidad de simular los más adecuados a los emplazamientos y obras a proyectar ha permitido resolver uno de los problemas fundamentales con que se enfrentaron los tratadistas precursores. Cabe recordar uno de los primeros intentos de la literatura técnica internacional, el libro escrito por el ingeniero militar español general Rafael Cerero en 1894 y titulado «Estudio sobre la resistencia y estabilidad de los edificios sometidos a huracanes y terremotos» donde se utilizan sismoscopios para registrar la inclinación máxima inducida, que luego se aprovecha para calcular la carga máxima horizontal a resistir por el edificio. Puede decirse que estos primeros intentos de aproximar el efecto sísmico mediante cargas equivalentes expresadas como porcentaje del peso propio o de las sobrecargas estaban viciadas por la ignorancia sobre el comportamiento dinámico de las estructuras y del suelo y sobre todo por el desconocimiento del papel que juega la ductilidad en la supervivencia de las construcciones.

Puede recordarse la sorpresa que experimentaron los primeros investigadores cuando compararon las acciones obtenidas mediante el espectro de respuesta elástico: las acciones teóricas calculadas a partir de acelerogramas reales de terremotos, de ser ciertas, hubieran conducido a la ruina a construcciones que realmente habían resistido aquél sismo. Se dedujo que las construcciones proyectadas de acuerdo con las reglas del arte se veían sometidas a incursiones en el dominio plástico con dos efectos beneficiosos: la reducción del nivel de cargas y la disipación de energía en los ciclos de histéresis consecuentes con las sacudidas.

Los numerosos cálculos que se realizaron a partir de los 70 con modelos numéricos no lineales confirmaron la idea e introdujeron un nuevo parámetro a tener en cuenta por el proyectista. Generalmente el constructor juega con la rigidez y la resistencia. Pues bien, en construcción sismorresistente el parámetro más significativo es la ductilidad, es decir, la posibilidad de entrada en régimen plástico de la estructura sometida a cargas alternativas pero sin pérdida de resistencia.

El juego entre la ductilidad disponible y la demandada por la respuesta al terremoto es el que fija la seguridad de la estructura. En algunos casos este conocimiento ha sido utilizado de forma abusiva para reducir el coste de la construcción; el precio que se paga por ello es inmenso como puso de manifiesto el terremoto de Michoacán que produjo una tremenda catástrofe en Ciudad de México (1985). Los constructores de edificios incorporaron rápidamente las enseñanzas recibidas pero no sucedió lo mismo con los puentes que son estructuras extraordinariamente vulnerables tal como han demostrado los terremotos de Loma Prieta (1989), Northridge (1994) o Kobe (1995). Puesto que los puentes son líneas vitales para la evacuación o la llegada de socorros, desde hace unos años se ha planteado una investigación intensiva para mejorar su proyecto tanto para obras nuevas como para proceder al reacondicionamiento de las que han quedado desfasados respecto al estado actual del conocimiento.

Se ha hablado de modelos físicos y matemáticos pero habría que añadir que otro foco del mayor interés es el de los modelos conceptuales. En ingeniería sísmica han surgido algunos basados en el aislamiento activo o pasivo del edificio completo, que se van incorporando a la práctica diaria. Pero posiblemente la idea más brillante que ha aparecido en los últimos años es la de proyecto según capacidad. Sustancialmente se trata de que el eslabón más débil de la cadena resistente sea dúctil. Ello implica construir el resto de forma que sea capaz de resistir en régimen elástico los máximos esfuerzos que le transmitan los eslabones débiles.

Es decir el proyecto se plantea buscando un mecanismo de fallo tal que distribuya la disipación de energía en la estructura para evitar que las demandas locales de ductilidad en las zonas que van a sufrir la entrada en régimen anelástico superen su capacidad. El resto de la estructura se dimensiona en régimen elástico para los esfuerzos máximos que puedan transmitirle las zonas plastificadas.

Este enfoque ha permitido desarrollar un método de comprobación prácticamente lineal que se complementa con requisitos de tipo constructivo.

El prototipo

Como se ha dicho en el mundo de la producción industrial antes de sacar un producto al mercado se experimenta con un prototipo. El ensayo del mismo sirve para detectar errores o funcionamientos distintos a los esperados, y por tanto, corregirlos antes de proceder a la producción en serie.

En construcción no somos tan afortunados y en muchas ocasiones puede decirse que la obra realizada es el propio prototipo. Puesto que los fallos pueden tener importantes consecuencias sociales, se utilizan tipologías experimentadas previamente

o se recurre a exhaustivos ensayos de laboratorio y cálculos meticulosos que permitan garantizar, dentro del estado del arte, la seguridad exigible. También existen proyectistas audaces que se dejan fascinar por ideas brillantes y la potencia de los métodos de cálculo modernos sin ponderar convenientemente las características del modelo calculado. En estos casos el terremoto es una acción determinante para poner de manifiesto los defectos del concepto y provocar incluso el colapso de la estructura.

Esto sucedió precisamente en el terremoto de San Fernando de 1971. Por aquella época se había impuesto en la literatura técnica la idea de construir los edificios sobre una primera planta muy flexible. Se pensaba que el resto del edificio, comparativamente más rígido, acompañaría el movimiento de la primera planta que se mecería a un lado y otro resistiendo la sacudida sísmica por flexibilidad, en forma semejante al comportamiento de los árboles ante el vendaval. El cálculo dinámico había progresado muchísimo lo que, unido al desarrollo de los ordenadores, había creado una confianza grande en los modelos numéricos. Por otro lado, la experimentación en laboratorio había demostrado la posibilidad de conseguir comportamiento dúctil en pilares de hormigón convenientemente confinados, incluso con altos valores del esfuerzo de compresión.

En esta situación, cierto proyectista decidió experimentar el concepto de planta flexible nada menos que en un hospital, obra cuya utilidad es decisiva precisamente tras la ocurrencia del terremoto. El cálculo se llevó a cabo con un modelo muy complejo, pero en régimen lineal, representando la reducción de cargas por plastificación mediante un parámetro como el utilizado cuando ésta se distribuye en toda la estructura. Por si fuera poco, el proyectista sintió la tentación artística y preparó unas preciosas columnas de esquina en las que era prácticamente imposible conseguir el confinamiento del hormigón. El terremoto no tuvo piedad, confirmando la frase de Richter en 1958 «Desde los tiempos de Mallet hasta ahora los informes de campo confirman, con melancólica insistencia, el hecho palmario: una construcción defectuosa no será capaz de resistir un terremoto».

El fallo inmediato de las columnas de esquina y la enorme demanda de ductilidad concentrada en los pilares, agravaron las solicitaciones al permitir el acoplamiento de los esfuerzos horizontales con los verticales en un efecto de tipo geométricamente no-lineal. El desplazamiento horizontal remanente fue de 70 centímetros y como consecuencia, se produjo la puesta fuera de servicio de una instalación clave en la etapa de salvamento y ayuda a los damnificados. Tras el accidente en 1972 se emitió la California Hospital Act que obligaba a calcular la estructura de los hospitales con la condición de mantener la funcionalidad.

En esta ocasión el Hospital de Olive View sirvió de prototipo para demostrar de forma inequívoca que el concepto estaba equivocado y que la norma básica a respetar en la construcción es no concentrar las demandas de ductilidad sino repartirlas para que el daño sea admisible. Ello significa que la experiencia real solo se obtiene estu-

diando como «prototipos» el comportamiento de las construcciones reales, y por eso, se organizan expediciones de científicos e ingenieros a los lugares en que un gran terremoto acaba de producirse.

También explica este ejemplo por qué los constructores corren el riesgo de ser tachados de conservadurismo cuando toman todas las precauciones para evitar estos fracasos desviándose sólo ligeramente de las estructuras previamente construidas y experimentadas. Es el camino que se está siguiendo en los últimos años para adaptar la idea de «planta flexible» a proyectos realistas. En la actualidad es la estructura completa la que se construye sobre resortes de flexibilidad calibrada para evitar que el aislamiento frente a sismos perjudique la estabilidad frente al viento. La idea ha sido desarrollada paso a paso mediante ensayos en laboratorio, prototipos a escala reducida, prototipos a escala real y finalmente aplicada a construcciones de diverso tipo. En Kobe, tras el desastroso terremoto de 1995, son numerosos los edificios de viviendas y oficinas donde se están incorporando los sistemas de aislamiento patentados tras la paciente experimentación previa.

La idea se está aplicando también a los puentes, siendo Italia el país donde de forma más sistemática se está recurriendo al aislamiento sísmico de los tableros.

La codificación de la experiencia

En los apartados anteriores se ha insistido en la importancia que tiene medir las magnitudes significativas en las estructuras construidas o en los modelos físicos e interpretar las medidas con un modelo abstracto. Realmente en eso consiste la experiencia ingenieril y carece de ella quien no haya actuado de ambas formas en las obras en las que haya participado.

Dada la repercusión social y económica que tienen los fallos del esqueleto resistente de las construcciones se ha articulado la actuación de organismos profesionales y gubernamentales que representan los intereses de la sociedad e intentan fijar los requisitos mínimos que deben cumplir aquellas. La costumbre de establecer Normas o Códigos de buena práctica tiene una antigüedad de siglo y medio ya que las primeras se propusieron tras los fracasos espectaculares de algunas obras construidas en la época de la revolución industrial cuando el conocimiento de los nuevos materiales era limitado y constructores emprendedores pero ayunos de experiencia, en el sentido anterior, intentaban competir con sus colegas más ilustrados a golpe de audacia e irresponsabilidad.

Las primeras recomendaciones sísmicas españolas están publicadas en la Gaceta Oficial de 1885 como conclusión del informe de la Comisión para el Estudio del Gran terremoto de Andalucía.

Y lo mismo sucedió en Italia tras el terremoto de Mesina (1908) que produjo 160000 muertos. En 1909, la comisión encargada de su estudio propuso calcular las estructuras con cargas horizontales equivalentes al 8'5% de las verticales. También en Japón tras el terremoto de Tokyo (1923), que se cobró 143000 vidas, el Ministerio del Interior prescribió el cálculo con cargas horizontales equivalentes al 10% de las verticales.

Es en este terremoto donde se produjo la famosa anécdota del arquitecto Frank Lloyd Wright pidiendo al barón OKURA, promotor del edificio, el envío de un telegrama donde se le felicitaba por el magnífico comportamiento del Hotel Imperial (proyectado por él) en los siguientes términos: «El Hotel sigue en pie y sin daño como monumento a su genialidad. Cientos de personas sin hogar acogidas gracias al perfecto mantenimiento del servicio. Felicidades.» El traslado de este telegrama a la prensa, en un gesto típico del sentido publicitario de Wright hizo popular el mito de que el Hotel Imperial era el único edificio que había resistido el terremoto, aunque realmente la comisión encargada de evaluar los daños lo situaba en un segundo nivel frente a los proyectados por el famoso profesor Naito, responsable de las recomendaciones precitadas. Es curioso también indicar que en la obra del general Rafael Cerero, citado más arriba, la recomendación basada en las medidas con sismoscopios situados en el Observatorio de Manila era de un 20% de las cargas verticales.

Pero el impulso real a la normativa sísmica tiene su origen en California.

El 10 de Marzo de 1933 un ligero desplazamiento de la falla de Inglewood, en las proximidades de Long Beach al sur de Los Ángeles, originó ondas sísmicas que además de los daños previsibles en un área tan poblada, redujeron a escombros los 85 colegios existentes en Long Beach. El terremoto tuvo lugar a las 6 de la tarde cuando ya todos los escolares habían abandonado las aulas, pero la población sufrió una fortísima impresión pensando lo que podía haber sucedido en caso contrario.

El gobierno Californiano lanzó un decreto: la Field Act, considerando obligatorio el proyecto parasísmico de las escuelas, dando lugar a lo que puede llamarse la primera Norma sísmica de obligado cumplimiento. El sentimiento de responsabilidad que no provocó el enorme sismo de San Francisco con su magnitud superior a 8, lo consiguió pues, este temblor de magnitud ligeramente superior a 6. Realmente lo único que se especificaba era la consideración de una carga horizontal equivalente al 10% de las cargas verticales puesto que se creía que los edificios calculados por Naito con este procedimiento habían resistido bien el terrible terremoto de Tokyo. También se limitaba la altura de las construcciones a 13 plantas.

La tardía aparición de Normas sísmicas puede achacarse a las dificultades para definir la acción sobre bases racionales, pero desde entonces, el estudio de las

lecciones impartidas por los sucesivos terremotos y el ímpetu ganado ante las exigencias de seguridad planteadas a estructuras tan comprometidas como las centrales nucleares, han provocado una mejora continua de los códigos de buena práctica.

Puesto que como se dijo, los grandes sismos ocurren con grandes intervalos de tiempo, y el coste de las construcciones debe estar relacionado con la duración de su vida prevista, las Normas adoptan como filosofía de proyecto la protección de los ocupantes más que la del propio edificio y, en este sentido, se aplica la filosofía de los llamados «estados límite». Los edificios se proyectan para resistir sin daño los pequeños terremotos que se estima puedan producirse durante la vida de la estructura, mientras que para los grandes, de periodo de retorno más alto, sólo se procura (para evitar el axioma de que los terremotos no matan pero los edificios sí) que no se produzca el colapso del esqueleto resistente, aceptándose que puedan producirse daños en el mismo. Dependiendo de la importancia de la estructura, estos daños aceptados pueden ser reparables o implicar la demolición tras el sismo.

En los años 50 Housner publicó los espectros medios correspondientes a los registros tomados por los primeros acelerógrafos desplegados en California, y en el 57, apareció el Seismic Code of Structural Engineers Association of California (SEAOC), que contenía el primer enfoque basado en los principios de la mecánica racional, incluyendo las ideas de espectro de respuesta y ductilidad de la estructura. Como esta última se definía en función del material acero, la Portland Cement Association inmediatamente lanzó un plan investigador tendente a demostrar que los niveles de ductilidad exigidos, es decir, de capacidad de absorción de energía, podrían conseguirse igualmente con estructuras de hormigón lo que fue llevado a cabo por Newmark en la Universidad de Illinois. Desde entonces investigación y desarrollo, es decir, Universidad e Industria, han cooperado codo con codo para mejorar los proyectos sismorresistentes.

En España se empezó a disponer de datos públicos en 1899 gracias a la estación sismológica instalada en el Observatorio de la Marina en San Fernando, que había sido fundado en 1734 por Jorge Juan. En los 60 los observatorios españoles de Málaga y Toledo se incorporaron a la Red Mundial de Sismógrafos Normalizados (WWSSN) y el Instituto Geográfico y Catastral comenzó a publicar el Boletín de Sismos Próximos.

El uso de esta información junto con la amplia experiencia histórica descrita, por ejemplo, en el Catálogo de Isosistas del Instituto Geográfico permitió la elaboración de mapas de sismicidad como el incluido en la Norma del Ministerio de la Vivienda MV-101 de 1962. El auténtico cambio cuantitativo se produjo sin embargo con la publicación de la Norma PGS-1 en 1969 y su posterior modificación PDS-1 de 1974

que introdujo en España la estructura moderna de los códigos sísmicos e impulsó el estudio de la dinámica estructural.

La nueva norma de construcción sismorresistente NCS'E-94 publicada en 1995 está en línea con los conocimientos actuales e introduce todos los conceptos que se han ido comentando más arriba. En particular es muy interesante la distinción entre los sismos próximos y lejanos, tema en el que Sevilla se ve especialmente afectada ya que ha sufrido la experiencia de ambos tipos, debido a su proximidad al foco de Granada, donde en Arenas del Rey se produjo el 25 de diciembre de 1884 el terremoto fuerte más reciente, y al foco de la falla Azores Gibraltar que el 1 de noviembre de 1755 arrasó Lisboa.

Uno de los esfuerzos Normativos más interesantes de los últimos tiempos ha sido desarrollado por la Unión Europea y afecta a la realización de los llamados Eurocódigos que intentan establecer recomendaciones de uso supranacional utilizando la experiencia técnica de los diferentes países. En el campo de la Ingeniería Sísmica el esfuerzo normativo ha sido acompañado por generosas aportaciones para la movilidad de jóvenes investigadores entre los diferentes países y para el desarrollo de proyectos cooperativos que forzosamente deben estar integrados por equipos de 4 ó más países. La investigación en ingeniería sísmica cumple así un objetivo doble pues además de contribuir a la creación del conocimiento, se transforma en un instrumento de cohesión entre los países de la Unión.

La predicción sísmica y la información a la población

En la tarde del 4 de febrero de 1975 tuvo lugar el terremoto de Haicheng cobrándose 1500 vidas, el precio más bajo en la historia de los terremotos en China. Para que eso sucediera tuvo que producirse uno de los más espectaculares éxitos de la ciencia: la predicción del movimiento sísmico. En efecto, el análisis de señales precursoras hizo que se fuera preparando a la población desde Junio de 1974 y en Diciembre se empezaron a habilitar refugios provisionales ya que las observaciones de anomalías en el nivel del agua de los pozos, las variaciones del campo magnético y el comportamiento anormal de ciertos animales convencieron a los sismólogos de la inminencia del sismo. Dos días antes de la sacudida se procedió a evacuar la ciudad y durante la mañana del 4 de febrero se decretó una alarma general. A raíz de este éxito en otros países (USA, Japón, etc) se crearon comités nacionales encargados de establecer predicciones semejantes y se extendió la sensación de que la solución al problema estaba próxima. Desgraciadamente algunos contraejemplos demostraron muy pronto lo contrario.

En la propia China el 28 de Julio de 1976 se produjo el terremoto de Tangshan sin que nadie fuera capaz de preverlo. La magnitud fue nada menos que de 7'8 y el

número de muertos superior al medio millón de personas. Contribuyendo a reforzar la tradición china de que todo gran terremoto es una premonición de grandes cambios políticos, un mes después moría Mao.

En una conferencia dada en Sevilla poco antes, el entonces presidente de la Sociedad Sismológica Americana, profesor Bruce Bolt, defendía que el éxito de la predicción de Haicheng se había conseguido gracias a una mezcla de sabiduría, suerte y organización social; en particular se preguntaba qué pasaría si se pedía a la población que evacuase una ciudad como Los Ángeles y, sobre todo, que pasaría si la predicción erraba.

Una respuesta a escala mediterránea se obtuvo en 1986 cuando los responsables de Lucca y Módena decidieron evacuar las ciudades tras un pequeño temblor en Toscana; 5500 personas abandonaron sus hogares, se movilizó a los bomberos y a la policía, se prepararon 1300 camas de hospital y decenas de vagones de ferrocarril como residencia provisional. Dejo a su imaginación los atascos inmensos de tráfico, el racionamiento de la gasolina, la intervención del ejército para evitar el pillaje de tiendas y oficinas, etc..... No pasó nada; salvo claro es, la dimisión de los responsables políticos entre la indignación de los ciudadanos.

Si quieren ustedes completar la visión de las dificultades sociológicas del tema con la fantasía de un escritor, les recomiendo la lectura de la novela titulada «Richter 10», del famoso novelista de ficción científica Arthur Clarke.

Lo que quiero poner de manifiesto con esto es que estamos no sólo ante un apasionante problema ingenieril, sino también ante un tema de seguridad ciudadana que pone en cuestión el papel de la ciencia y las obligaciones de la sociedad. Esta situación se ha comparado a la de la salud en el S. XIX. A costa de grandes inversiones públicas en infraestructuras y de una educación de la sociedad en el sentido del cuidado y de la higiene personal se consiguió reducir el azote de las epidemias. Ahora los gobiernos ante la latente amenaza sísmica deben sentirse obligados también a mejorar las infraestructuras pero los individuos deben aprender a protegerse. De nuevo, como en el caso de la higiene, la protección pública depende de la seguridad personal. Un problema es que los periodos de retorno de los terremotos son mucho más largos que los de los responsables políticos y, por tanto el éxito de las medidas sensatas es recogido por generaciones posteriores a la que debe subvencionar el esfuerzo. (Recordarán ustedes que, según la mitología, Minerva la de los ojos verdes, diosa del saber, surgió de la cabeza de su padre Zeus. Algunos opinan que habría que actualizar el mito e indicar que ahora surge del bolsillo de los contribuyentes). Hay que reconocer que el precio del conocimiento y de la consiguiente prevención es alto y que la sociedad representada por sus políticos debe establecer prioridades; pero debe ser también consciente de los riesgos que asume. Todo ello ha hecho que se desarrolle una

cultura de Planificación de la Protección Civil ante el riesgo sísmico que, en nuestro país, cuenta con una directriz básica desde 1995, donde se establece la necesidad de elaborar tanto un Plan Estatal como los correspondientes a las Comunidades Autónomas. El curioso lector podrá comprobar que en el Anexo II donde se recoge el listado de municipios en que los sismos son previsibles, Andalucía ocupa el 70% del espacio dedicado al mismo. En los planes se considera la necesidad de la creación de una opinión pública de prevención mediante ejercicios de adiestramiento, simulaciones, etc. Y es que tras una catástrofe todo el cuerpo social se verá involucrado.

En algunos países se dedica incluso un día como recordatorio periódico del riesgo: el 1º de Septiembre en Japón, el 20 de Septiembre en México, el mes de Abril en California. Las Naciones Unidas han proclamado el segundo miércoles de Octubre como día Internacional para la reducción de las catástrofes naturales dentro de la proclamación de los 90 como Década Internacional de la misma. Con ello se pretende llamar la atención de los gobiernos para que destinen más fondos a las amenazas latentes de sus respectivos países.

Desgraciadamente los últimos acontecimientos en Centroamérica han puesto de manifiesto la fragilidad de nuestras sociedades ante la naturaleza desencadenada.

Epílogo

A lo largo de mis comentarios he intentado llevar a su ánimo la importancia que para la sociedad tiene la comprensión de la amenaza sísmica, que es real y puede ser catastrófica como demuestra la historia de Andalucía.

También que la ingeniería sísmica ha hecho enormes progresos en los últimos 50 años pese a que los terremotos fuertes siguen impartiendo enseñanzas sobre los peligros de una construcción poco cuidadosa.

La Universidad de Sevilla tiene el deber social de contribuir con sus estudios a reducir el riesgo sísmico y a ello se han dedicado, con o sin apoyo institucional, sus brillantes profesores. Además para el estudioso siempre queda lo más atrayente del desafío: la interpretación de los fenómenos observados.

En este sentido siempre me gusta recordar el lema que Simón Stevin, el descubridor de la regla del paralelogramo para la descomposición de fuerzas, colocó en la portada de su libro «*Mathematicorum Hypomnena de Statica*», «*Wonder en is gheen wonder*», es decir, en traducción libre: «maravilloso pero no incomprensible». Y esa, creo es la divisa que permite mantener la esperanza de los estudiosos de la ingeniería sísmica.